

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7684597号
(P7684597)

(45)発行日 令和7年5月28日(2025.5.28)

(24)登録日 令和7年5月20日(2025.5.20)

(51)国際特許分類 F I
H 0 4 B 7/06 (2006.01) H 0 4 B 7/06 9 5 0
H 0 4 B 10/2575(2013.01) H 0 4 B 10/2575 1 2 0

請求項の数 9 (全30頁)

(21)出願番号	特願2023-521994(P2023-521994)	(73)特許権者	000004226 日本電信電話株式会社 東京都千代田区大手町一丁目5番1号
(86)(22)出願日	令和3年5月17日(2021.5.17)	(74)代理人	110001634 弁理士法人志賀国際特許事務所
(86)国際出願番号	PCT/JP2021/018577	(72)発明者	伊藤 耕大 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内
(87)国際公開番号	WO2022/244045	(72)発明者	菅 瑞紀 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内
(87)国際公開日	令和4年11月24日(2022.11.24)	(72)発明者	新井 拓人 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内
審査請求日	令和5年9月11日(2023.9.11)	(72)発明者	白戸 裕史

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 無線通信方法及び無線通信システム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

收容局装置と、前記收容局装置の制御に従ってビーム形成を行う基地局装置とを備える無線通信システムにおける無線通信方法であって、

前記收容局装置が、光波長、周波数又は光偏波のいずれかの組み合わせを制御することによって、送信対象となる送信信号に基づいて光信号を強度変調して生成した光変調信号を、光伝送路を介して前記基地局装置に送信して前記基地局装置のビームフォーミング制御を行い、

前記基地局装置が、前記收容局装置が制御する前記組み合わせと同じ光波長、周波数又は光偏波のいずれかを組み合わせた数に応じた入力ポートを有するビーム形成回路に前記光変調信号に基づく電気信号を入力することによって、前記電気信号が入力された前記入力ポートに応じた方向にビーム形成を行う無線通信方法。

10

【請求項2】

收容局装置と、前記收容局装置の制御に従ってビーム形成を行う基地局装置とを備える無線通信システムにおける無線通信方法であって、

前記收容局装置が、周波数を制御することによって、送信対象となる送信信号に基づいて光信号を強度変調して生成した光変調信号を、光伝送路を介して前記基地局装置に送信して前記基地局装置のビームフォーミング制御を行い、

前記基地局装置が、前記周波数の数に応じた入力ポートを有するビーム形成回路に前記光変調信号に基づく電気信号を入力することによって、前記電気信号が入力された前記入

20

カポートに応じた方向にビーム形成を行う無線通信方法。

【請求項 3】

前記收容局装置が制御する前記組み合わせが、光波長と周波数の組み合わせである場合に、

前記收容局装置が、前記基地局装置においてビーム形成したい方向に応じた周波数及び光波長を選択し、前記送信信号の周波数を選択した前記周波数に変換し、変換後の周波数の送信信号に基づいて、選択された前記光波長の光信号を強度変調して生成した前記光変調信号を前記基地局装置に送信して前記基地局装置のビームフォーミング制御を行い、

前記基地局装置が、前記光変調信号を波長に応じて分波し、波長毎に分波された前記光変調信号を電気信号に変換し、前記電気信号を周波数に応じて分波することによって前記ビーム形成回路に電気信号を入力してビーム形成を行う、

請求項 1 に記載の無線通信方法。

10

【請求項 4】

前記收容局装置が制御する前記組み合わせが、光偏波と周波数の組み合わせである場合に、

前記收容局装置が、前記光偏波と前記周波数の組み合わせを制御することによって前記送信信号の周波数を変換し、変換後の周波数の送信信号に基づいて、制御された前記光偏波の光信号を強度変調して生成した前記光変調信号を前記基地局装置に送信して前記基地局装置のビームフォーミング制御を行い、

前記基地局装置が、前記光変調信号の光偏波成分を分離し、光偏波成分ごとに分離された前記光変調信号を電気信号に変換し、前記電気信号を周波数に応じて分波することによって前記ビーム形成回路に電気信号を入力してビーム形成を行う、

請求項 1 に記載の無線通信方法。

20

【請求項 5】

前記收容局装置が制御する前記組み合わせが、光偏波と光波長の組み合わせである場合に、

前記收容局装置が、前記基地局装置においてビーム形成したい方向に応じた前記光偏波及び前記光波長を選択し、前記送信信号を用いて、選択した前記光波長である前記光偏波の光信号を強度変調して生成した前記光変調信号を前記基地局装置に送信して前記基地局装置のビームフォーミング制御を行い、

前記基地局装置が、前記光変調信号を波長に応じて分波した後に波長毎に分波された前記光変調信号の光偏波成分を分離、又は、前記光変調信号の光偏波成分を分離した後に光偏波成分毎に分離された前記光変調信号を波長に応じて分波し、前記光変調信号を電気信号に変換してから前記ビーム形成回路に入力してビーム形成を行う、

請求項 1 に記載の無線通信方法。

30

【請求項 6】

前記收容局装置が制御する前記組み合わせが、光偏波と周波数と光波長の組み合わせである場合に、

前記收容局装置が、前記基地局装置においてビーム形成したい方向に応じた光偏波、周波数及び光波長を選択し、前記送信信号の周波数を選択した前記周波数に変換し、変換後の周波数の送信信号を用いて、選択した前記光波長である前記光偏波の光信号を強度変調して生成した前記光変調信号を前記基地局装置に送信して前記基地局装置のビームフォーミング制御を行い、

前記基地局装置が、前記光変調信号に基づいて得られる前記電気信号を前記ビーム形成回路に入力してビーム形成を行う、

請求項 1 に記載の無線通信方法。

40

【請求項 7】

前記基地局装置が、外部の装置から送信された無線信号を電気信号に変換して前記ビーム形成回路の出力ポートに入力し、前記出力ポートに応じた前記ビーム形成回路の前記入力ポートから前記電気信号を出力し、前記電気信号を用いて光信号を強度変調した光信号を前記收容局装置に送出し、

前記收容局装置が、前記基地局装置から送出された前記光信号を復調する、

請求項 1 又は 2 に記載の無線通信方法。

50

【請求項 8】

収容局装置と、前記収容局装置の制御に従ってビーム形成を行う基地局装置とを備える無線通信システムであって、

前記収容局装置は、

光波長、周波数又は光偏波のいずれかの組み合わせを制御する制御部と、

前記制御部により切り替えられた前記光波長、周波数又は光偏波のいずれかの組み合わせに基づいて、送信対象となる送信信号に基づいて光信号を強度変調して生成した光変調信号を、光伝送路を介して前記基地局装置に送信する光変調器と、

を備え、

前記基地局装置は、

前記収容局装置が制御する前記組み合わせと同じ光波長、周波数又は光偏波のいずれかを組み合わせた数に応じた入力ポートを有するビーム形成回路、

を備え、

前記ビーム形成回路は、前記光変調信号に基づく電気信号が入力された前記入力ポートに応じた方向にビーム形成を行う、

無線通信システム。

10

【請求項 9】

収容局装置と、前記収容局装置の制御に従ってビーム形成を行う基地局装置とを備える無線通信システムであって、

前記収容局装置は、

周波数を制御する制御部と、

前記制御部により切り替えられた前記周波数に基づいて、送信対象となる送信信号に基づいて光信号を強度変調して生成した光変調信号を、光伝送路を介して前記基地局装置に送信する光変調器と、

を備え、

前記基地局装置は、

前記周波数の数に応じた入力ポートを有するビーム形成回路、

を備え、

前記ビーム形成回路は、前記光変調信号に基づく電気信号が入力された前記入力ポートに応じた方向にビーム形成を行う、

無線通信システム。

20

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、無線通信方法及び無線通信システムに関する。

【背景技術】

【0002】

従来、高速伝送が可能なミリ波帯を利用した無線通信が注目されている。しかしながら、ミリ波帯を利用する場合、伝搬損失が大きく長距離伝送が困難であるという問題がある。R o F (Radio over Fiber) システムにより、ミリ波帯の R F 信号 (Radio Frequency 信号) の長距離伝送が可能となるが、アンテナ部のカバーエリアが課題となる。その解決策の1つとして、アレーアンテナを用いたビームフォーミングが挙げられる。R o F システム又は光技術を利用したビームフォーミング技術として、特許文献 1 又は非特許文献 1 に記載の技術が提案されている。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特許第 4 2 4 6 7 2 4 号公報

【非特許文献】

【0004】

50

【文献】Dennis T. K. Tong, Ming C. Wu, “A Novel Multiwavelength Optically Controlled Phased Array Antenna with a Programmable Dispersion Matrix”, IEEE Photonics Technology Letters, 1996年6月, VOL.8, NO.6, p.812-814.

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

図19は、特許文献1における無線通信システム100の概要を説明するための図である。無線通信システム100は、収容局装置200と、基地局装置300とを備える。収容局装置200と、基地局装置300とは、光ファイバ400を介して接続される。収容局装置200は、多波長可変光源201から出力された特定の波長間隔を有する複数の光信号を光変調器202により変調して基地局装置300に送信する。このとき、光ファイバ400が複数の波長の光変調信号を伝送する際に、波長分散の影響により、波長ごとに異なる遅延差が生じる。

10

【0006】

基地局装置300は、収容局装置200から送信された光変調信号を光分波器301により波長毎に分波して、 $O/E302-1 \sim 302-p$ (p は1以上の整数)により電気信号に変換する。電気信号は、アンテナ303-1~303-pへ給電されるが、光ファイバ400が伝送する際に生じた波長分散による遅延差のために電気信号間にも遅延差が生じており、電波として放射される際に指向性が形成される。よって、多波長可変光源201が出力する光信号の波長を制御することで、ビーム方向を制御することができる。

20

【0007】

しかし、ビーム方向や光ファイバ長、RF信号の周波数によっては、光信号の波長間隔を極めて大きく、または小さくする必要がある。前者の場合は、利用する波長帯が広がってしまい、波長利用効率の低下が考えられる。一方、後者の場合は、多波長可変光源201の制御が困難となってしまう。

【0008】

また、特許文献1における技術では、ビーム方向を動的に制御するために光波長を動的に制御するため、基地局装置300の備える光分波器201の分波機構も動的に制御する必要がある。よって、基地局装置300の制御が必要となり、基地局装置300の簡易化に限界がある。さらに、特許文献1における技術では、各光信号間の遅延差調整のための波長調整に、光ファイバの距離情報を必要とする。一般に、収容局装置200と基地局装置300との間の光ファイバ400の長さは、分からないか、あるいは分かっているとしても正確な長さまでは分からないことが多い。よって、特許文献1における技術の適用範囲は限定されることになると思われる。

30

【0009】

図20は、非特許文献1に記載の技術を説明するための図である。図20に示す装置は、多波長可変光源501、光変調器502、PDM (Programmable Dispersion Matrix) 503、光分波器504、 $O/E505-1 \sim 505-p$ 及びアンテナ506-1~506-pを備える。図21は、従来のPDM503の構成例を示す図である。図21に示すように、PDM503は、複数の光スイッチ511-1~511-q (q は2以上の整数)と、複数の遅延部512-1~512-qを含んで構成される。非特許文献1に記載の技術においては、特許文献1における技術とは異なり、各アンテナに異なる光波長を固定的に対応させている。その上で、PDM503により分散値を制御し、光波長毎の遅延差を制御し、ビーム方向の制御を行っている。

40

【0010】

非特許文献1に記載の技術では、光波長が固定的であるため、波長利用効率は特許文献1の場合よりも良くなる。また、光分波も固定的であり、光分波器を制御する必要がない。しかし、分散を制御するためのPDMの設計・製作に高い精度が求められると考えられ、装置の大型化・高コスト化の恐れがある。

【0011】

50

また、非特許文献 1 に記載の技術では、R o F への適用に関する言及はない。非特許文献 1 に記載の技術に対して R o F を適用して長距離光ファイバ伝送する際には、P D M による分散制御以外に、光ファイバ伝送時の波長分散の影響も考慮する必要がある。さらに、特許文献 1 および非特許文献 1 の技術では、ともに送信アンテナのビームフォーミングのみ言及しており、受信アンテナのビームフォーミングには言及されていない。

【 0 0 1 2 】

上記事情に鑑み、本発明は、波長利用効率の低下や高コスト化を抑制しつつ、基地局装置の制御および光ファイバの距離情報を用いなくとも送受アンテナのビームフォーミング制御を行うことができる技術の提供を目的としている。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 3 】

本発明の一態様は、收容局装置と、前記收容局装置の制御に従ってビーム形成を行う基地局装置とを備える無線通信システムにおける無線通信方法であって、前記收容局装置が、光波長、周波数又は光偏波のいずれかの組み合わせ、あるいは、前記周波数を制御することによって、送信対象となる送信信号に基づいて光信号を強度変調して生成した光変調信号を、光伝送路を介して前記基地局装置に送信して前記基地局装置のビームフォーミング制御を行い、前記基地局装置が、前記光波長、周波数又は光偏波のいずれかを組み合わせた数、あるいは、前記周波数の数に応じた入力ポートを有するビーム形成回路に前記光変調信号に基づく電気信号を入力することによって、前記電気信号が入力された前記入力ポートに応じた方向にビーム形成を行う無線通信方法である。

【 0 0 1 4 】

本発明の一態様は、收容局装置と、前記收容局装置の制御に従ってビーム形成を行う基地局装置とを備える無線通信システムであって、前記收容局装置は、光波長、周波数又は光偏波のいずれかの組み合わせ、あるいは、前記周波数を制御する制御部と、前記制御部により切り替えられた前記光波長、周波数又は光偏波のいずれかの組み合わせ、あるいは、前記周波数に基づいて、送信対象となる送信信号に基づいて光信号を強度変調して生成した光変調信号を、光伝送路を介して前記基地局装置に送信する光変調器と、を備え、前記基地局装置は、前記光波長、周波数又は光偏波のいずれかを組み合わせた数、あるいは、前記周波数の数に応じた入力ポートを有するビーム形成回路、を備え、前記ビーム形成回路は、前記光変調信号に基づく電気信号が入力された前記入力ポートに応じた方向にビーム形成を行う、無線通信システムである。

【発明の効果】

【 0 0 1 5 】

本発明により、波長利用効率の低下や高コスト化を抑制しつつ、基地局装置の制御および光ファイバの距離情報を用いなくとも送受アンテナのビームフォーミング制御を行うことが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 6 】

【図 1】第 1 の実施形態における無線通信システムの構成例を示す図である。

【図 2】第 1 の実施形態における無線通信システムの処理の流れを示すシーケンス図である。

【図 3】第 2 の実施形態における無線通信システムの構成例を示す図である。

【図 4】第 2 の実施形態における無線通信システムの処理の流れを示すシーケンス図である。

【図 5】第 3 の実施形態における無線通信システムの構成例を示す図である。

【図 6】第 3 の実施形態における無線通信システムの処理の流れを示すシーケンス図である。

【図 7】第 4 の実施形態における無線通信システムの構成例を示す図である。

【図 8】第 4 の実施形態における無線通信システムの処理の流れを示すシーケンス図である。

10

20

30

40

50

【図 9】第 4 の実施形態の変形例における無線通信システムの構成例を示す図である。

【図 10】第 5 の実施形態における無線通信システムの構成例を示す図である。

【図 11】第 5 の実施形態における無線通信システムの処理の流れを示すシーケンス図である。

【図 12】第 6 の実施形態における無線通信システムの構成例を示す図である。

【図 13】第 6 の実施形態における無線通信システムの処理の流れを示すシーケンス図である。

【図 14】第 7 の実施形態における無線通信システムの構成例を示す図である。

【図 15】第 7 の実施形態における無線通信システムの処理の流れを示すシーケンス図である。

10

【図 16】第 8 の実施形態における無線通信システムの構成例を示す図である。

【図 17】第 8 の実施形態における無線通信システムの処理の流れを示すシーケンス図である。

【図 18】第 8 の実施形態の変形例における無線通信システムの構成例を示す図である。

【図 19】特許文献 1 における無線通信システムの概要を説明するための図である。

【図 20】非特許文献 1 に記載の技術を説明するための図である。

【図 21】従来の P D M の構成例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0017】

以下、本発明の一実施形態を、図面を参照しながら説明する。

20

(第 1 の実施形態)

図 1 は、第 1 の実施形態における無線通信システム 1 の構成例を示す図である。無線通信システム 1 は、收容局装置 10 と、基地局装置 20 とを備える。收容局装置 10 と、基地局装置 20 とは、光伝送路 30 を介して接続されている。光伝送路 30 は、例えば光ファイバである。光伝送路 30 は、1 以上のシングルコアファイバでもよいし、1 以上のコアを有するマルチコアファイバでもよい。以下の説明では、收容局装置 10 から基地局装置 20 へ向かう方向を下り方向、基地局装置 20 から收容局装置 10 へ向かう方向を上り方向とする。

【0018】

図 1 では、基地局装置 20 が 1 台の場合を示しているが、無線通信システム 1 は複数の基地局装置 20 を備えてもよい。この場合、收容局装置 10 と複数の基地局装置 20 とは、パッシブ光ネットワーク (Passive Optical Network : PON) で接続されていてもよい。收容局装置 10 と複数の基地局装置 20 とが、PON で接続される場合には、收容局装置 10 と複数の基地局装置 20 との間に光スプリッタ (分岐部) が設けられる。光スプリッタは、收容局装置 10 から出力された光信号を分岐して基地局装置 20 に出力する。パッシブ光ネットワークは、例えば、WDM - PON (Wavelength Division Multiplexing - Passive Optical Network)、又は、TDM - PON (Time Division Multiplexing - Passive Optical Network) である。

30

【0019】

收容局装置 10 は、送信信号の周波数を切り替えることによって、基地局装置 20 のビームを遠隔で制御する。收容局装置 10 は、アナログ R o F 技術を用いて基地局装置 20 のビームを遠隔で制御する。なお、送信信号は、B B 信号 (Base Band 信号) であってもよいし、I F 信号 (Intermediate Frequency 信号) であってもよいし、R F 信号 (Radio Frequency 信号) であってもよい。

40

【0020】

基地局装置 20 は、收容局装置 10 から送信された信号を無線により放射する。

【0021】

次に、收容局装置 10 及び基地局装置 20 の具体的な構成について説明する。

收容局装置 10 は、制御部 11 と、周波数変換部 12 と、光変調部 13 とを備える。

【0022】

50

制御部 11 は、基地局装置 20 においてビーム形成したい方向に応じた周波数を選択する。例えば、制御部 11 は、 m (m は 1 以上の整数) 個の周波数 f_{T1}, \dots, f_{Tm} のいずれか 1 つ又は複数を選擇する。

【0023】

周波数変換部 12 は、入力された送信信号を、制御部 11 により指定された周波数 f_{Ti} に変換する。なお、 i は 1 以上 m 以下の整数である。

【0024】

光変調部 13 は、周波数 f_{Ti} の信号を用いて、ある波長の光信号を強度変調する。これにより、光変調部 13 は、光変調信号を生成する。光変調部 13 は、生成した光変調信号を、光伝送路 30 を介して基地局装置 20 に伝送する。

10

【0025】

基地局装置 20 は、O/E 21 と、分波器 22 と、複数の周波数変換部 23-1 ~ 23-m と、ビーム形成回路 24 と、複数のアンテナ 25-1 ~ 25-N とを備える。

【0026】

O/E 21 は、光伝送路 30 を介して受信した光変調信号を電気信号に変換する光電変換部である。これにより、O/E 21 は、周波数 f_{Ti} の電気信号を取り出す。

【0027】

分波器 22 は、O/E 21 により取り出された電気信号を周波数に応じて分波する。

【0028】

周波数変換部 23-1 ~ 23-m は、入力された電気信号の周波数を RF 帯の周波数に変換する。

20

【0029】

ビーム形成回路 24 は、 m 個の入力ポートと、 N (N は 1 以上の整数) 個の出力ポートを持つ。ビーム形成回路 24 の入力ポートには、周波数変換部 23-1 ~ 23-m が接続される。ビーム形成回路 24 の出力ポートには、アンテナ 25-1 ~ 25-N が接続される。 m 個の周波数 f_{T1}, \dots, f_{Tm} は、 m 個のビーム形成回路 24 の入力ポート及び m 個の送信ビームと一対一に対応しており、収容局装置 10 の送信信号の周波数切替で送信ビーム方向切替が可能となる。

【0030】

ビーム形成回路 24 は、ある 1 つの入力ポートに信号を入力すると、 N 個の出力ポートから振幅が同じで、位相が線形に傾くような信号が出力される。ビーム形成回路 24 は、入力ポートによって位相の傾きが異なる。ビーム形成回路 24 は、入力ポートに応じた方向にビームを形成することができる。

30

【0031】

ビーム形成回路 24 は、入出力の可逆性を持ち、ある入力ポートに対応するビームの方向から信号が到来すると、当該入力ポートのみから信号が出力される。ビーム形成回路 24 は、例えばバトラーマトリクス、ブルスマトリクス、ノーランマトリクス及びロットマンレンズなどがある (例えば、参考文献 1 参照)。

【0032】

(参考文献 1 : Wei Hong, Zhi Hao Jiang, Chao Yu, Jianyi Zhou, Peng Chen, Zhiqiang Yu, Hui Zhang, Binqi Yang, Xingdong Pang, Mei Jiang, Yujian Cheng, Mustafa K. Taher Al-Nuaimi, Yan Zhang, Jixin Chen, and Shiwen He, "Multibeam antenna technologies for 5G wireless communications", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 65(12), 6231-6249 (2017).)

40

【0033】

アンテナ 25-1 ~ 25-N は、ビーム形成回路 24 から出力された電気信号を無線により放射する。

【0034】

図 2 は、第 1 の実施形態における無線通信システム 1 の処理の流れを示すシーケンス図である。

50

制御部 11 は、基地局装置 20 においてビーム形成したい方向に応じた周波数を選択する（ステップ S101）。例えば、制御部 11 は、 m 個の周波数 f_{T1}, \dots, f_{Tm} のうち、1 つの周波数 f_{Ti} を選択する。制御部 11 は、選択した周波数 f_{Ti} に周波数変換するように周波数変換部 12 を制御する。

【0035】

周波数変換部 12 は、入力された送信信号を、制御部 11 により指定された周波数 f_{Ti} に変換する（ステップ S102）。周波数変換部 12 は、周波数 f_{Ti} の送信信号を光変調部 13 に出力する。光変調部 13 は、周波数変換部 12 から出力された周波数 f_{Ti} の送信信号を用いて、ある波長の光信号を強度変調する（ステップ S103）。これにより、光変調部 13 は、光変調信号を生成する。光変調部 13 は、生成した光変調信号を光伝送路 30 に送出する（ステップ S104）。

10

【0036】

光伝送路 30 に送出された光変調信号は、基地局装置 20 に入力される。基地局装置 20 の O/E21 は、入力された光変調信号を電気信号に変換する（ステップ S105）。この処理により、光変調信号は、周波数 f_{Ti} の電気信号に変換される。O/E21 は、周波数 f_{Ti} の電気信号を分波器 22 に出力する。分波器 22 に出力された周波数 f_{Ti} の電気信号は、周波数に応じて分波される（ステップ S106）。

【0037】

分波器 22 の出力ポートには、複数の周波数変換部 23-1 ~ 23-m が接続されている。例えば、周波数 f_{T1} に対応する分波器 22 の出力ポートには周波数変換部 23-1 が接続され、周波数 f_{Ti} に対応する分波器 22 の出力ポートには周波数変換部 23-i が接続され、周波数 f_{Tm} に対応する分波器 22 の出力ポートには周波数変換部 23-m が接続される。そのため、分波器 22 によって周波数毎に分波された電気信号は、周波数に応じた出力ポートに接続されている周波数変換部 23 に出力される。図 2 では、周波数 f_{Ti} の電気信号が分波器 22 により分波されて、周波数変換部 23-i に入力されたものとする。

20

【0038】

周波数変換部 23-i は、入力された電気信号の周波数を RF 帯の周波数に変換する（ステップ S107）。周波数変換部 23-i は、RF 帯の電気信号をビーム形成回路 24 に出力する。ビーム形成回路 24 は、電気信号が入力された入力ポートに応じた方向にビームを形成する。これにより、電気信号を入力した入力ポートに対応する出力ポートに接続されたアンテナ 25 から無線信号が発出される。電気信号を入力した入力ポートに対応する出力ポートに接続されたアンテナ 25 は、入力された電気信号に応じた無線信号を放射する（ステップ S108）。

30

【0039】

以上のように構成された無線通信システム 1 によれば、基地局装置 20 が備えるビーム形成回路 24 に、周波数に応じた数の入力ポートを設ける。これにより、収容局装置 10 において送信信号の周波数を切り替えることで、遠隔で送信ビームの方向を切り替えることができる。このような構成では、ビームフォーミングの制御に波長を利用しない。そのため、波長利用効率の低下を抑制しつつ、アンテナのビームフォーミング制御を行うことが可能になる。

40

【0040】

さらに、無線通信システム 1 では、ビーム形成回路 24 に周波数を割り当てることで基地局装置 20 の制御や光ファイバ距離情報が不要となり、基地局装置 20 の簡易化が可能になる。

【0041】

（第 1 の実施形態の変形例）

収容局装置 10 が、複数の周波数を同時利用してサブキャリア多重（SCM: Subcarrier Multiplexing）することで、基地局装置 20 においてマルチビーム形成するように構成されてもよい。

50

【 0 0 4 2 】

(第 2 の実施形態)

第 2 の実施形態では、収容局装置が光波長及び周波数を制御して、基地局装置のビーム形成を遠隔で制御する点が、第 1 の実施形態との差分である。第 2 の実施形態では、第 1 の実施形態との差分を中心に説明する。

【 0 0 4 3 】

図 3 は、第 2 の実施形態における無線通信システム 1 a の構成例を示す図である。無線通信システム 1 a は、収容局装置 1 0 a と、基地局装置 2 0 a とを備える。収容局装置 1 0 a と、基地局装置 2 0 a とは、光伝送路 3 0 を介して接続されている。

【 0 0 4 4 】

収容局装置 1 0 a は、制御部 1 1 a と、周波数変換部 1 2 と、光変調部 1 3 a とを備える。

【 0 0 4 5 】

制御部 1 1 a は、基地局装置 2 0 a においてビーム形成したい方向に応じた周波数及び光波長を選択する。例えば、制御部 1 1 a は、光変調部 1 3 a で利用する光波長として、適用可能な光波長 τ_1, \dots, τ_n のうちいずれか 1 つ又は複数を選択する。例えば、制御部 1 1 a は、光波長 τ_j に対して適用可能な周波数 $f^j_{\tau_1}, \dots, f^j_{\tau_{m_j}}$ のうちいずれか 1 つ又は複数を選択する。j は 1 以上の整数である。

【 0 0 4 6 】

周波数変換部 1 2 a は、入力された送信信号を、制御部 1 1 a により指定された周波数 $f^j_{\tau_i}$ に変換する。

【 0 0 4 7 】

光変調部 1 3 a は、周波数 $f^j_{\tau_i}$ の信号を用いて、制御部 1 1 a により指定されたある波長 τ_j の光信号を強度変調する。これにより、光変調部 1 3 a は、波長 τ_j の光変調信号を生成する。光変調部 1 3 a は、生成した光変調信号を、光伝送路 3 0 を介して基地局装置 2 0 a に伝送する。

【 0 0 4 8 】

基地局装置 2 0 a は、光分波器 2 6 と、複数の O / E 2 1 と、複数の分波器 2 2 と、複数の周波数変換部 2 3 と、ビーム形成回路 2 4 と、複数のアンテナ 2 5 - 1 ~ 2 5 - N とを備える。なお、図 3 では、説明の簡単化のため記載を省略しているが、O / E 2 1 及び分波器 2 2 は光波長 τ の数 n だけ備えられる必要があり、周波数変換部 2 3 は光波長 τ_j が利用する周波数の数 m_j だけ備えられる必要がある。そのため、ビーム形成回路 2 4 の入力ポートの数は、 $\sum_{j=1}^n m_j$ となる。

【 0 0 4 9 】

光分波器 2 6 は、光伝送路 3 0 を介して受信した光変調信号を波長に応じて分波する。例えば、光分波器 2 6 は、AWG (Arrayed Waveguide Grating) である。光分波器 2 6 により分波された光変調信号は、O / E 2 1 に入力される。

【 0 0 5 0 】

ビーム形成回路 2 4 は、 $\sum_{j=1}^n m_j$ 個の入力ポートと、N 個の出力ポートとを持つ。ビーム形成回路 2 4 の入力ポートには、 $\sum_{j=1}^n m_j$ 個の周波数変換部 2 3 が接続される。ビーム形成回路 2 4 の出力ポートには、アンテナ 2 5 - 1 ~ 2 5 - N が接続される。ここで、光波長 τ_j と周波数 $f^j_{\tau_i}$ の $\sum_{j=1}^n m_j$ 通りの組み合わせは、 $\sum_{j=1}^n m_j$ 個のビーム形成回路 2 4 の入力ポート及び $\sum_{j=1}^n m_j$ 個の送信ビームと一対一に対応しており、収容局装置 1 0 a の送信信号の光波長及び周波数切替で送信ビーム方向切替が可能となる。

【 0 0 5 1 】

図 4 は、第 2 の実施形態における無線通信システム 1 a の処理の流れを示すシーケンス図である。

制御部 1 1 a は、基地局装置 2 0 a においてビーム形成したい方向に応じた周波数及び光波長を選択する (ステップ S 2 0 1) 。例えば、制御部 1 1 a は、周波数 $f^j_{\tau_1}, \dots,$

10

20

30

40

50

f^j_{Tmj} のうち、1つの周波数 f^j_{Ti} を選択する。さらに、制御部11aは、光波長 τ_1, \dots, τ_n のうち、1つ光波長 τ_j を選択する。制御部11aは、選択した周波数 f^j_{Ti} に周波数変換するように周波数変換部12aを制御する。さらに制御部11aは、選択した光波長 τ_j で光強度変調するように光変調部13aを制御する。

【0052】

周波数変換部12aは、入力された送信信号を、制御部11aにより指定された周波数 f^j_{Ti} に変換する(ステップS202)。周波数変換部12aは、周波数 f^j_{Ti} の送信信号を光変調部13aに出力する。光変調部13aは、制御部11aにより指定された光波長 τ_j に対して、周波数変換部12aから出力された周波数 f^j_{Ti} の送信信号を用いて強度変調する(ステップS203)。これにより、光変調部13aは、光波長 τ_j の光変調信号を生成する。光変調部13aは、生成した光変調信号を光伝送路30に送出する(ステップS204)。

10

【0053】

光伝送路30に送出された光変調信号は、基地局装置20aに入力される。基地局装置20aの光分波器26は、入力された光波長 τ_j の光変調信号を分波する(ステップS205)。光分波器26の出力ポートには、光波長の数に応じてO/E21が接続されている。そのため、光分波器26によって波長毎に分波された光変調信号は、波長に応じた出力ポートに接続されているO/E21に出力される。図4では、光波長 τ_j の光変調信号が光分波器26により分波されて、O/E21に入力されたものとする。

【0054】

O/E21は、入力された光変調信号を電気信号に変換する(ステップS206)。この処理により、光変調信号は、周波数 f^j_{Ti} の電気信号に変換される。O/E21は、周波数 f^j_{Ti} の電気信号を分波器22に出力する。分波器22に出力された周波数 f^j_{Ti} の電気信号は、周波数に応じて分波される(ステップS207)。分波器22で分波された電気信号は、周波数変換部23に入力される。

20

【0055】

周波数変換部23は、入力された電気信号の周波数をRF帯の周波数に変換する(ステップS208)。周波数変換部23は、RF帯の電気信号をビーム形成回路24に出力する。ビーム形成回路24は、電気信号が入力された入力ポートに応じた方向にビームを形成する。これにより、電気信号を入力した入力ポートに対応する出力ポートに接続されたアンテナ25から無線信号が発出される。電気信号を入力した入力ポートに対応する出力ポートに接続されたアンテナ25は、入力された電気信号に応じた無線信号を放射する(ステップS209)。

30

【0056】

以上のように構成された無線通信システム1aによれば、基地局装置20aが備えるビーム形成回路24に、周波数及び光波長の組み合わせに応じた数の入力ポートを設ける。これにより、収容局装置10aにおいて送信信号の周波数及び光波長を切り替えることで、遠隔で送信ビームの方向を切り替えることができる。このような構成では、ビームフォーミングの制御に波長を利用しない。そのため、波長利用効率の低下を抑制しつつ、アンテナのビームフォーミング制御を行うことが可能になる。

40

【0057】

(第2の実施形態の変形例)

収容局装置10aが、複数の光波長と、複数の周波数とを同時利用して、サブキャリア多重と波長分割多重(WDM: Wavelength Division Multiplexing)することで、基地局装置20aにおいてマルチビーム形成するように構成されてもよい。

【0058】

(第3の実施形態)

第3の実施形態では、収容局装置が送信信号の光偏波及び周波数を制御して、基地局装置のビーム形成を遠隔で制御する点が、第1の実施形態との差分である。第2の実施形態では、第1の実施形態との差分を中心に説明する。

50

【 0 0 5 9 】

図 5 は、第 3 の実施形態における無線通信システム 1 b の構成例を示す図である。無線通信システム 1 b は、収容局装置 1 0 b と、基地局装置 2 0 b とを備える。収容局装置 1 0 b と、基地局装置 2 0 b とは、光伝送路 3 0 を介して接続されている。

【 0 0 6 0 】

収容局装置 1 0 b は、制御部 1 1 b と、周波数変換部 1 2 b と、光変調部 1 3 b とを備える。

【 0 0 6 1 】

制御部 1 1 b は、基地局装置 2 0 b においてビーム形成したい方向に応じた周波数及び光偏波を選択する。例えば、制御部 1 1 b は、光変調部 1 3 b で利用する光偏波として、適用可能な光偏波 X 、 Y のうちいずれか 1 つ又は複数を選択する。ここで、 X 、 Y は、それぞれ水平偏波と、垂直偏波を表す。例えば、制御部 1 1 b は、光偏波 k (k は X 又は Y) に対して適用可能な周波数 $f^{k_{T1}}, \dots, f^{k_{Tm_k}}$ のうちいずれか 1 つ又は複数を選択する。

10

【 0 0 6 2 】

周波数変換部 1 2 b は、入力された送信信号を、制御部 1 1 b により指定された周波数 $f^{k_{Ti}}$ に変換する。

【 0 0 6 3 】

光変調部 1 3 b は、周波数 $f^{k_{Ti}}$ の信号を用いて、制御部 1 1 b により指定されたある光偏波 k の光信号を強度変調する。これにより、光変調部 1 3 b は、光偏波 k の光変調信号を生成する。光変調部 1 3 b は、生成した光変調信号を、光伝送路 3 0 を介して基地局装置 2 0 b に伝送する。

20

【 0 0 6 4 】

基地局装置 2 0 b は、偏波分離部 2 7 と、複数の O/E 2 1 - X 、2 1 - Y と、複数の分波器 2 2 と、複数の周波数変換部 2 3 と、ビーム形成回路 2 4 と、複数のアンテナ 2 5 - 1 ~ 2 5 - N とを備える。なお、図 5 では、説明の簡単化のため記載を省略しているが、分波器 2 2 は光偏波の数 (例えば、2) だけ備えられる必要があり、周波数変換部 2 3 は光偏波 X が利用する周波数の数 m_X と光偏波 Y が利用する周波数の数 m_Y の合計数 ($m_X + m_Y$ 個) だけ備えられる必要がある。そのため、ビーム形成回路 2 4 の入力ポートの数は、 $m_X + m_Y$ となる。

30

【 0 0 6 5 】

偏波分離部 2 7 は、光伝送路 3 0 を介して受信した光変調信号の光偏波 k 成分を分離する。

【 0 0 6 6 】

ビーム形成回路 2 4 は、($m_X + m_Y$) 個の入力ポートと、 N 個の出力ポートを持つ。ビーム形成回路 2 4 の入力ポートには、($m_X + m_Y$) 個の周波数変換部 2 3 が接続される。ビーム形成回路 2 4 の出力ポートには、アンテナ 2 5 - 1 ~ 2 5 - N が接続される。ここで、光偏波 k と周波数 $f^{k_{Ti}}$ の ($m_X + m_Y$) 通りの組み合わせは、($m_X + m_Y$) 個のビーム形成回路 2 4 の入力ポート及び ($m_X + m_Y$) 個の送信ビームと一対一に対応しており、収容局装置 1 0 b の送信信号の光偏波及び周波数切替で送信ビーム方向切替が可能となる。

40

【 0 0 6 7 】

図 6 は、第 3 の実施形態における無線通信システム 1 b の処理の流れを示すシーケンス図である。

制御部 1 1 b は、基地局装置 2 0 b においてビーム形成したい方向に応じた周波数及び光偏波を選択する (ステップ S 3 0 1)。例えば、制御部 1 1 b は、周波数 $f^{X_{T1}}, \dots, f^{X_{Tmj}}$ のうち、1 つの周波数 $f^{X_{Ti}}$ を選択する。さらに、制御部 1 1 b は、光偏波 k のうち、1 つ光偏波 X を選択する。制御部 1 1 b は、選択した周波数 $f^{X_{Ti}}$ に周波数変換するように周波数変換部 1 2 b を制御する。さらに制御部 1 1 b は、選択した光偏波 X の光信号を光強度変調するように光変調部 1 3 b を制御する。

50

【 0 0 6 8 】

周波数変換部 1 2 b は、入力された送信信号を、制御部 1 1 b により指定された周波数 $f^{X_{T_i}}$ に変換する（ステップ S 3 0 2）。周波数変換部 1 2 b は、周波数 $f^{X_{T_i}}$ の送信信号を光変調部 1 3 b に出力する。光変調部 1 3 b は、制御部 1 1 b により指定された光偏波 X の光信号に対して、周波数変換部 1 2 b から出力された周波数 $f^{X_{T_i}}$ の送信信号を用いて強度変調する（ステップ S 3 0 3）。これにより、光変調部 1 3 b は、光偏波 X の光変調信号を生成する。光変調部 1 3 a は、生成した光変調信号を光伝送路 3 0 に送出する（ステップ S 3 0 4）。

【 0 0 6 9 】

光伝送路 3 0 に送出された光変調信号は、基地局装置 2 0 b に入力される。基地局装置 2 0 b の偏波分離部 2 7 は、入力された光偏波 X の光変調信号の光偏波 k 成分を分離する（ステップ S 3 0 5）。偏波分離部 2 7 の出力ポートには、偏波数に応じて O / E 2 1 - X, 2 1 - Y が接続されている。そのため、偏波分離部 2 7 によって分離された光変調信号は、光偏波成分に応じた出力ポートに接続されている O / E 2 1 - X, 2 1 - Y に出力される。図 6 では、光偏波 X の光変調信号が偏波分離部 2 7 により分離されて、O / E 2 1 - X に入力されたものとする。

10

【 0 0 7 0 】

O / E 2 1 - X は、入力された光変調信号を電気信号に変換する（ステップ S 3 0 6）。この処理により、光変調信号は、周波数 $f^{X_{T_i}}$ の電気信号に変換される。O / E 2 1 - X は、周波数 $f^{X_{T_i}}$ の電気信号を分波器 2 2 に出力する。分波器 2 2 に出力された周波数 $f^{X_{T_i}}$ の電気信号は、周波数に応じて分波される（ステップ S 3 0 7）。分波器 2 2 で分波された電気信号は、周波数変換部 2 3 に入力される。

20

【 0 0 7 1 】

周波数変換部 2 3 は、入力された電気信号の周波数を R F 帯の周波数に変換する（ステップ S 3 0 8）。周波数変換部 2 3 は、R F 帯の電気信号をビーム形成回路 2 4 に出力する。ビーム形成回路 2 4 は、電気信号が入力された入力ポートに応じた方向にビームを形成する。これにより、電気信号を入力した入力ポートに対応する出力ポートに接続されたアンテナ 2 5 から無線信号が発出される。電気信号を入力した入力ポートに対応する出力ポートに接続されたアンテナ 2 5 は、入力された電気信号に応じた無線信号を放射する（ステップ S 3 0 9）。

30

【 0 0 7 2 】

以上のように構成された無線通信システム 1 b によれば、基地局装置 2 0 b が備えるビーム形成回路 2 4 に、周波数及び光偏波の組み合わせに応じた数の入力ポートを設ける。これにより、収容局装置 1 0 b において送信信号の周波数及び光偏波を切り替えることで、遠隔で送信ビームの方向を切り替えることができる。このような構成では、ビームフォーミングの制御に波長を利用しない。そのため、波長利用効率の低下を抑制しつつ、アンテナのビームフォーミング制御を行うことが可能になる。

【 0 0 7 3 】

（第 3 の実施形態の変形例）

収容局装置 1 0 b が、複数の光偏波と、複数の周波数とを同時利用して、サブキャリア多重と偏波分割多重（PDM：Polarization Division Multiplexing）を行うことで、基地局装置 2 0 b においてマルチビーム形成するように構成されてもよい。

40

【 0 0 7 4 】

（第 4 の実施形態）

第 4 の実施形態では、収容局装置が送信信号の光波長及び光偏波を制御して、基地局装置のビーム形成を遠隔で制御する点が、第 1 の実施形態との差分である。第 4 の実施形態では、第 1 の実施形態との差分を中心に説明する。

【 0 0 7 5 】

図 7 は、第 4 の実施形態における無線通信システム 1 c の構成例を示す図である。無線通信システム 1 c は、収容局装置 1 0 c と、基地局装置 2 0 c とを備える。収容局装置 1

50

0 c と、基地局装置 2 0 c とは、光伝送路 3 0 を介して接続されている。

【 0 0 7 6 】

収容局装置 1 0 c は、制御部 1 1 c と、光変調部 1 3 c とを備える。

【 0 0 7 7 】

制御部 1 1 c は、基地局装置 2 0 c においてビーム形成したい方向に応じた光波長及び光偏波を選択する。例えば、制御部 1 1 c は、光変調部 1 3 b で利用する光偏波として、適用可能な光偏波 X , Y のうちいずれか 1 つ又は複数を選択する。例えば、制御部 1 1 c は、光変調部 1 3 c で利用する光波長として、適用可能な光波長 τ_1, \dots, τ_n のうちいずれか 1 つ又は複数を選択する。

【 0 0 7 8 】

光変調部 1 3 c は、RF 帯の送信信号を、ある光波長 τ_j である光偏波 k の光信号を用いて強度変調する。これにより、光変調部 1 3 c は、光波長 τ_j である光偏波 k の光変調信号を生成する。光変調部 1 3 c は、生成した光変調信号を、光伝送路 3 0 を介して基地局装置 2 0 c に伝送する。

【 0 0 7 9 】

基地局装置 2 0 c は、光分波器 2 6 と、複数の偏波分離部 2 7 と、複数の O / E 2 1 と、ビーム形成回路 2 4 と、複数のアンテナ 2 5 - 1 ~ 2 5 - N とを備える。なお、図 7 では、説明の簡単化のため記載を省略しているが、偏波分離部 2 7 は光波長 τ の数 n だけ備えられる必要があり、O / E 2 1 は光波長 τ_j が利用する光偏波の数（例えば、2）だけ備えられる必要がある。そのため、ビーム形成回路 2 4 の入力ポートの数は、2 n と

【 0 0 8 0 】

光分波器 2 6 は、光伝送路 3 0 を介して受信した光変調信号を波長に応じて分波する。例えば、光分波器 2 6 は、AWG である。光分波器 2 6 により分波された光変調信号は、偏波分離部 2 7 に入力される。

【 0 0 8 1 】

偏波分離部 2 7 は、光分波器 2 6 から出力された光変調信号の光偏波 k 成分を分離する。

【 0 0 8 2 】

ビーム形成回路 2 4 は、2 n 個の入力ポートと、N 個の出力ポートとを持つ。ビーム形成回路 2 4 の入力ポートには、2 n 個の O / E 2 1 が接続される。ビーム形成回路 2 4 の出力ポートには、アンテナ 2 5 - 1 ~ 2 5 - N が接続される。ここで、光波長 τ_j と光偏波 k との 2 n 通りの組み合わせは、2 n 個のビーム形成回路 2 4 の入力ポート及び 2 n 個の送信ビームと一対一に対応しており、収容局装置 1 0 c の送信信号の光偏波及び光波長切替で送信ビーム方向切替が可能となる。

【 0 0 8 3 】

図 8 は、第 4 の実施形態における無線通信システム 1 c の処理の流れを示すシーケンス図である。

制御部 1 1 c は、基地局装置 2 0 c においてビーム形成したい方向に応じた光偏波及び光波長を選択する（ステップ S 4 0 1）。例えば、制御部 1 1 c は、光波長 τ_1, \dots, τ_n のうち、1 つ光波長 τ_j を選択する。さらに、制御部 1 1 c は、光偏波 k のうち、1 つ光偏波 X を選択する。制御部 1 1 c は、選択した光波長 τ_j である光偏波 X の光信号を光強度変調するように光変調部 1 3 c を制御する。

【 0 0 8 4 】

光変調部 1 3 c は、送信信号を、制御部 1 1 c により指定された光波長 τ_j である光偏波 X の光信号を用いて強度変調する（ステップ S 4 0 2）。これにより、光変調部 1 3 c は、光波長 τ_j である光偏波 X の光変調信号を生成する。光変調部 1 3 c は、生成した光変調信号を光伝送路 3 0 に送出する（ステップ S 4 0 3）。

【 0 0 8 5 】

光伝送路 3 0 に送出された光変調信号は、基地局装置 2 0 c に入力される。基地局装置 2 0 c の光分波器 2 6 は、入力された光変調信号を波長に応じて分波する（ステップ S 4

10

20

30

40

50

04)。光分波器26の出力ポートには、波長数に応じて偏波分離部27が接続されている。そのため、光分波器26によって分波された光変調信号は、波長に応じた出力ポートに接続されている偏波分離部27に出力される。図8では、光波長 τ_j の光変調信号が光分波器26により分波されて、光波長 τ_j に応じた出力ポートに接続されている偏波分離部27に入力されたものとする。

【0086】

偏波分離部27は、光偏波Xの光変調信号の光偏波k成分を分離する(ステップS405)。偏波分離部27の出力ポートには、光偏波数に応じてO/E21が接続されている。そのため、偏波分離部27によって分離された光変調信号は、光偏波成分に応じた出力ポートに接続されているO/E21に出力される。図8では、光偏波Xの光変調信号が偏波分離部27により分離されて、光偏波Xの出力ポートに接続されているO/E21に入力されたものとする。

10

【0087】

O/E21は、入力された光変調信号を電気信号に変換する(ステップS406)。この処理により、光変調信号は、電気信号に変換される。O/E21は、変換後の電気信号をビーム形成回路24に出力する。ビーム形成回路24は、電気信号が入力された入力ポートに応じた方向にビームを形成する。これにより、電気信号を入力した入力ポートに対応する出力ポートに接続されたアンテナ25から無線信号が発出される。電気信号を入力した入力ポートに対応する出力ポートに接続されたアンテナ25は、入力された電気信号に応じた無線信号を放射する(ステップS407)。

20

【0088】

以上のように構成された無線通信システム1cによれば、基地局装置20cが備えるビーム形成回路24に、光偏波及び光波長の組み合わせに応じた数の入力ポートを設ける。これにより、収容局装置10cにおいて送信信号の光偏波及び光波長を切り替えることで、遠隔で送信ビームの方向を切り替えることができる。このような構成では、ビームフォーミングの制御に波長を利用しない。そのため、波長利用効率の低下を抑制しつつ、アンテナのビームフォーミング制御を行うことが可能になる。

【0089】

(第4の実施形態の変形例)

収容局装置10cが、複数の光偏波と、複数の光波長とを同時利用して、波長分割多重と偏波分割多重を行うことで、基地局装置20cにおいてマルチビーム形成するように構成されてもよい。

30

【0090】

図7に示す基地局装置20cの構成において、図9のように光分波器26と偏波分離部27との順番が入れ替えて構成されてもよい。図9は、第4の実施形態の変形例における無線通信システム1dの構成例を示す図である。無線通信システム1dは、収容局装置10cと、基地局装置20dとを備える。収容局装置10cと、基地局装置20dとは、光伝送路30を介して接続されている。図9に示す無線通信システム1dは、基地局装置20dの構成が図7に示す無線通信システム1cと異なる。無線通信システム1dのその他の構成については、無線通信システム1cと同様である。

40

【0091】

基地局装置20dは、偏波分離部27と、光分波器26と、複数のO/E21と、ビーム形成回路24と、複数のアンテナ25-1~25-Nとを備える。なお、図9では、説明の簡単化のため記載を省略しているが、光分波器26は光偏波の数(例えば、2)だけ備えられる必要があり、O/E21は光偏波Xが利用する周波数の数 m_X と光偏波Yが利用する周波数の数 m_Y の合計数($m_X + m_Y$ 個)だけ備えられる必要がある。そのため、ビーム形成回路24の入力ポートの数は、 $m_X + m_Y$ となる。

【0092】

ビーム形成回路24は、($m_X + m_Y$)個の入力ポートと、N個の出力ポートとを持つ。ビーム形成回路24の入力ポートには、($m_X + m_Y$)個のO/E21が接続される。

50

ビーム形成回路 24 の出力ポートには、アンテナ 25 - 1 ~ 25 - N が接続される。ここで、光偏波 k と光波長 τ_j の $(m_x + m_y)$ 通りの組み合わせは、 $(m_x + m_y)$ 個のビーム形成回路 24 の入力ポート及び $(m_x + m_y)$ 個の送信ビームと一対一に対応しており、収容局装置 10 c の送信信号の光偏波及び光波長切替で送信ビーム方向切替が可能となる。

【0093】

図 7 に示す基地局装置 20 c では光伝送路 30 を介して受信した光変調信号を分波した後、光偏波 k 成分を分離したのに対し、基地局装置 20 d では光伝送路 30 を介して受信した光変調信号の光偏波 k 成分を分離した後に光変調信号を分波する。

【0094】

(第 5 の実施形態)

第 1 の実施形態から第 4 の実施形態では、下り方向に対する信号送信の構成について説明した。第 5 の実施形態では、上り方向に対する信号送信の構成について説明する。なお、第 5 の実施形態では、基地局装置においてサブキャリア多重して収容局装置に信号を送信する構成について説明する。

【0095】

図 10 は、第 5 の実施形態における無線通信システム 1 e の構成例を示す図である。無線通信システム 1 e は、収容局装置 10 e と、基地局装置 20 e とを備える。収容局装置 10 e と、基地局装置 20 e とは、光伝送路 30 を介して接続されている。

【0096】

基地局装置 20 e は、複数のアンテナ 31 - 1 ~ 31 - N と、ビーム形成回路 32 と、複数の周波数変換部 33 - 1 ~ 33 - m と、合波器 34 と、光変調部 35 とを備える。

【0097】

アンテナ 31 - 1 ~ 31 - N は、外部の装置から送信された無線信号を受信する。外部の装置とは、例えば基地局装置 20 e が通信を行う対象となる無線装置である。アンテナ 31 - 1 ~ 31 - N は、受信した無線信号を電気信号に変換してビーム形成回路 32 へ出力する。

【0098】

ビーム形成回路 32 は、第 1 の実施形態におけるビーム形成回路 24 と同様に、 m 個の入力ポートと、 N 個の出力ポートを持つ。ビーム形成回路 32 の入力ポートには、周波数変換部 33 - 1 ~ 33 - m が接続される。ビーム形成回路 32 の出力ポートには、アンテナ 31 - 1 ~ 31 - N が接続される。 m 個の周波数 $f_{\tau_1}, \dots, f_{\tau_m}$ は、 m 個のビーム形成回路 24 の入力ポート及び m 個の受信ビームと一対一に対応している。ビーム形成回路 32 は、アンテナ 31 - 1 ~ 31 - N から出力された電気信号を出力ポートから入力し、入力ポートに接続される周波数変換部 33 - 1 ~ 33 - m へ出力する。

【0099】

周波数変換部 33 - 1 ~ 33 - m は、入力された電気信号の周波数を変換する。これにより、周波数変換部 33 - 1 ~ 33 - m へ入力された電気信号は、周波数 f_{R_i} へ変換される。

【0100】

合波器 34 は、周波数変換部 33 - 1 ~ 33 - m から出力された電気信号を合波する。

【0101】

光変調部 35 は、合波器 34 により合波された電気信号を用いて、ある波長の光信号を強度変調してサブキャリア多重する。これにより、光変調部 35 は、多重信号を生成する。光変調部 35 は、生成した多重信号を、光伝送路 30 を介して収容局装置 10 e に伝送する。

【0102】

収容局装置 10 e は、O/E 14 と、分波器 15 と、出力部 16 とを備える。

【0103】

O/E 14 は、光伝送路 30 を介して受信した多重信号を電気信号に変換する光電変換

10

20

30

40

50

部である。

【0104】

分波器15は、O/E14により出力された電気信号を周波数に応じて分波する。例えば、分波器15は、周波数 f_{R1}, \dots, f_{Rm} の電気信号を分波する。

【0105】

出力部16は、入力された周波数 f_{R1}, \dots, f_{Rm} の電気信号を復調する。例えば、出力部16は、入力された周波数 f_{R1}, \dots, f_{Rm} の電気信号のうち、1つを選択して復調してもよい。これは、 m 個の受信ビームのうち、1つのビームを選択することと同値である。なお、出力部16は、複数周波数を選択し、同時利用することでマルチビーム形成も可能である。出力部16は、入力された周波数 f_{R1}, \dots, f_{Rm} の電気信号の複数を復調した後にMIMO (Multiple Input Multiple Output) 信号処理を行ってもよい。

10

【0106】

図11は、第5の実施形態における無線通信システム1eの処理の流れを示すシーケンス図である。

アンテナ31は、外部の装置から送信された無線信号を受信する(ステップS501)。アンテナ31は、受信した無線信号を電気信号に変換してビーム形成回路32に出力する。ビーム形成回路32は、電気信号が入力された出力ポートに対応する入力ポートに接続された周波数変換部33に電気信号を出力する。図11では、例えば、ビーム形成回路32の入力ポート*i*から電気信号が出力されたものとする。

【0107】

ビーム形成回路32の入力ポート*i*に接続されている周波数変換部33は、ビーム形成回路32から出力された電気信号を周波数変換する(ステップS502)。これにより、電気信号の周波数は、周波数 f_{Ri} に変換される。周波数変換部33は、周波数 f_{Ri} の電気信号を合波器34に出力する。合波器34は、各周波数変換部33から出力された電気信号を合波する(ステップS503)。合波器34によって合波された電気信号は、光変調部35に出力される。

20

【0108】

光変調部35は、合波器34により合波された電気信号を用いて、ある波長の光信号を強度変調してサブキャリア多重する(ステップS504)。これにより、光変調部35は、多重信号を生成する。光変調部35は、生成した多重信号を、光伝送路30を介して収容局装置10eに送出する(ステップS505)。

30

【0109】

光伝送路30に送出された多重信号は、収容局装置10eに入力される。収容局装置10eのO/E14は、入力された多重信号を電気信号に変換する(ステップS506)。この処理により、多重信号は、周波数 f_{Ri} の電気信号に変換される。O/E14は、周波数 f_{Ri} の電気信号を分波器15に出力する。分波器15に出力された周波数 f_{Ri} の電気信号は、周波数に応じて分波される(ステップS507)。分波器15で分波された周波数 f_{Ri} の電気信号は出力部16に入力される。出力部16は、入力された周波数 f_{Ri} の電気信号を復調する(ステップS508)。

【0110】

以上のように構成された無線通信システム1eによれば、上り方向においても第1の実施形態と同様の効果を得ることができる。

40

【0111】

(第6の実施形態)

第6の実施形態では、基地局装置においてサブキャリア多重及び波長分割多重して収容局装置に信号を送信する点が、第5の実施形態との差分である。第6の実施形態では、第5の実施形態との差分を中心に説明する。

【0112】

図12は、第6の実施形態における無線通信システム1fの構成例を示す図である。無線通信システム1fは、収容局装置10fと、基地局装置20fとを備える。収容局装置

50

10fと、基地局装置20fとは、光伝送路30を介して接続されている。

【0113】

基地局装置20fは、複数のアンテナ31-1~31-Nと、ビーム形成回路32と、複数の周波数変換部33と、複数の合波器34と、複数の光変調部35と、光合波器36とを備える。なお、図12では、説明の簡単化のため記載を省略しているが、合波器34及び光変調部35は光波長 R の数 n だけ備えられる必要があり、周波数変換部33は光波長 R_j が利用する周波数の数 m_j だけ備えられる必要がある。そのため、ビーム形成回路32の入力ポートの数は、 $\sum_{j=1}^n m_j$ となる。

【0114】

光合波器36は、光変調部35によりサブキャリア多重された信号を合波して波長分割多重する。これにより、光合波器36は、波長多重信号を生成する。光合波器36は、生成した波長多重信号を、光伝送路30を介して収容局装置10fに伝送する。

10

【0115】

ビーム形成回路32は、第2の実施形態におけるビーム形成回路24と同様に、 $\sum_{j=1}^n m_j$ 個の入力ポートと、 N 個の出力ポートを持つ。ビーム形成回路32の入力ポートには、 $\sum_{j=1}^n m_j$ 個の周波数変換部33が接続される。ビーム形成回路32の出力ポートには、アンテナ31-1~31-Nが接続される。ここで、光波長 R_j と周波数 $f_{R_i}^j$ の $\sum_{j=1}^n m_j$ 通りの組み合わせは、 $\sum_{j=1}^n m_j$ 個のビーム形成回路32の入力ポート及び $\sum_{j=1}^n m_j$ 個の受信ビームと一対一に対応している。ビーム形成回路32は、アンテナ31-1~31-Nから出力された電気信号を出力ポートから入力し、入力ポート

20

【0116】

収容局装置10fは、光分波器17と、複数のO/E14と、複数の分波器15と、出力部16とを備える。なお、図3では、説明の簡単化のため記載を省略しているが、O/E14及び分波器15は光波長 R の数 n だけ備えられる必要がある。

【0117】

光分波器17は、光伝送路30を介して受信した波長多重信号を波長に応じて分波する。例えば、光分波器17は、AWGである。光分波器17により分波された多重信号は、O/E14に入力される。

【0118】

図13は、第6の実施形態における無線通信システム1fの処理の流れを示すシーケンス図である。

30

アンテナ31は、外部の装置から送信された無線信号を受信する(ステップS601)。アンテナ31は、受信した無線信号を電気信号に変換してビーム形成回路32に出力する。ビーム形成回路32は、電気信号が入力された出力ポートに対応する入力ポートに接続された周波数変換部33に電気信号を出力する。

【0119】

周波数変換部33はそれぞれ、入力ポートから出力された電気信号を光波長 R_j に対応した周波数 $f_{R_i}^j$ に変換する(ステップS602)。周波数変換部33は、周波数 $f_{R_i}^j$ の電気信号を合波器34に出力する。合波器34は、各周波数変換部33から出力された電気信号を合波する(ステップS603)。合波器34によって合波された電気信号は、光変調部35に出力される。

40

【0120】

光変調部35は、合波器34により合波された電気信号を用いて、ある波長の光信号を強度変調してサブキャリア多重する(ステップS604)。これにより、光変調部35は、多重信号を生成する。光変調部35は、生成した多重信号を、光合波器36に出力する。光合波器36は、各光変調部35により生成された多重信号を合波して波長分割多重する(ステップS605)。これにより、光合波器36は、波長多重信号を生成する。光合波器36は、生成した波長多重信号を、光伝送路30を介して収容局装置10fに送出する(ステップS606)。

50

【 0 1 2 1 】

光伝送路 3 0 に送出された波長多重信号は、収容局装置 1 0 f に入力される。収容局装置 1 0 f の光分波器 1 7 は、入力された波長多重信号を波長に応じて分波する（ステップ S 6 0 7）。これにより、波長多重信号は、光波長 R_j の光変調信号となり、対応する O / E 1 4 に出力される。光分波器 1 7 には、波長数に応じた数の O / E 1 4 が接続されている。O / E 1 4 は、光分波器 1 7 により分波された光波長 R_j の光変調信号を電気信号に変換する（ステップ S 6 0 8）。この処理により、光波長 R_j の光変調信号は、周波数 $f^j_{R_i}$ の電気信号に変換される。O / E 1 4 は、周波数 $f^j_{R_i}$ の電気信号を分波器 1 5 に出力する。

【 0 1 2 2 】

分波器 1 5 に出力された周波数 $f^j_{R_i}$ の電気信号は、周波数に応じて分波される（ステップ S 6 0 9）。分波器 1 5 で分波された周波数 $f^j_{R_i}$ の電気信号は出力部 1 6 に入力される。出力部 1 6 は、入力された周波数 $f^j_{R_i}$ の電気信号を復調する（ステップ S 6 1 0）。例えば、出力部 1 6 は、光波長 R_j と周波数 $f^j_{R_i}$ の $n_{j=1} m_j$ 通りの組み合わせのうち、1つを選択して復調してもよい。これは、 $n_{j=1} m_j$ 個の受信ビームのうち、1つのビームを選択することと同値である。なお、出力部 1 6 は、複数の周波数及び複数の光波長を選択し、同時利用することでマルチビーム形成も可能である。出力部 1 6 は、入力された周波数 $f^j_{R_1}, \dots, f^j_{R_m}$ の電気信号の複数を復調した後に MIMO 信号処理を行ってもよい。

【 0 1 2 3 】

以上のように構成された無線通信システム 1 f によれば、上り方向においても第 2 の実施形態と同様の効果を得ることができる。

【 0 1 2 4 】

（第 7 の実施形態）

第 7 の実施形態では、基地局装置においてサブキャリア多重及び偏波分割多重して収容局装置に信号を送信する点が、第 5 の実施形態との差分である。第 7 の実施形態では、第 5 の実施形態との差分を中心に説明する。

【 0 1 2 5 】

図 1 4 は、第 7 の実施形態における無線通信システム 1 g の構成例を示す図である。無線通信システム 1 g は、収容局装置 1 0 g と、基地局装置 2 0 g とを備える。収容局装置 1 0 g と、基地局装置 2 0 g とは、光伝送路 3 0 を介して接続されている。

【 0 1 2 6 】

基地局装置 2 0 g は、複数のアンテナ 3 1 - 1 ~ 3 1 - N と、ビーム形成回路 3 2 と、複数の周波数変換部 3 3 と、複数の合波器 3 4 と、複数の光変調部 3 5 と、偏波合波部 3 7 とを備える。なお、図 1 4 では、説明の簡単化のため記載を省略しているが、光変調部 3 5 及び合波器 3 4 は光偏波の数（例えば、2）だけ備えられる必要があり、周波数変換部 3 3 は光偏波 X が利用する周波数の数 m_X と光偏波 Y が利用する周波数の数 m_Y の合計数（ $m_X + m_Y$ 個）だけ備えられる必要がある。そのため、ビーム形成回路 3 2 の入力ポートの数は、 $m_X + m_Y$ となる。

【 0 1 2 7 】

偏波合波部 3 7 は、複数の光変調部 3 5 によりサブキャリア多重された信号を合波して偏波分割多重する。これにより、偏波合波部 3 7 は、偏波多重信号を生成する。偏波合波部 3 7 は、生成した偏波多重信号を、光伝送路 3 0 を介して収容局装置 1 0 g に伝送する。

【 0 1 2 8 】

ビーム形成回路 3 2 は、第 3 の実施形態におけるビーム形成回路 2 4 と同様に、（ $m_X + m_Y$ ）個の入力ポートと、N 個の出力ポートを持つ。ビーム形成回路 3 2 の入力ポートには、（ $m_X + m_Y$ ）個の周波数変換部 3 3 が接続される。ビーム形成回路 3 2 の出力ポートには、アンテナ 3 1 - 1 ~ 3 1 - N が接続される。ここで、光偏波 k と周波数 $f^k_{R_i}$ の（ $m_X + m_Y$ ）通りの組み合わせは、（ $m_X + m_Y$ ）個のビーム形成回路 3 2 の入力ポート及び（ $m_X + m_Y$ ）個の受信ビームと一対一に対応している。ビーム形成回路 3 2

10

20

30

40

50

は、アンテナ 31 - 1 ~ 31 - N から出力された電気信号を出力ポートから入力し、入力ポートに接続される周波数変換部 33 に出力する。

【0129】

収容局装置 10g は、偏波分離部 18 と、複数の O/E 14 - X, 14 - Y と、複数の分波器 15 と、出力部 16 とを備える。なお、図 14 では、説明の簡単化のため記載を省略しているが、O/E 14 及び分波器 15 は光偏波の数（例えば、2）だけ備えられる必要がある。

【0130】

偏波分離部 18 は、光伝送路 30 を介して受信した偏波多重信号の光偏波 k 成分を分離する。

10

【0131】

図 15 は、第 7 の実施形態における無線通信システム 1g の処理の流れを示すシーケンス図である。

アンテナ 31 は、外部の装置から送信された無線信号を受信する（ステップ S701）。アンテナ 31 は、受信した無線信号を電気信号に変換してビーム形成回路 32 に出力する。ビーム形成回路 32 は、電気信号が入力された出力ポートに対応する入力ポートに接続された周波数変換部 33 に電気信号を出力する。

【0132】

周波数変換部 33 はそれぞれ、入力ポートから出力された電気信号を光偏波 k に対応した周波数 $f^{k_{Ri}}$ に変換する（ステップ S702）。周波数変換部 33 は、 $f^{k_{Ri}}$ の電気信号を合波器 34 に出力する。合波器 34 は、各周波数変換部 33 から出力された電気信号を合波する（ステップ S703）。合波器 34 によって合波された電気信号は、光変調部 35 に出力される。

20

【0133】

光変調部 35 は、合波器 34 により合波された電気信号を用いて、光偏波 k の光信号を強度変調してサブキャリア多重する（ステップ S704）。これにより、光変調部 35 は、多重信号を生成する。光変調部 35 は、生成した多重信号を、偏波合波部 37 に出力する。偏波合波部 37 は、各光変調部 35 により生成された多重信号を合波して偏波分割多重する（ステップ S705）。これにより、偏波合波部 37 は、偏波多重信号を生成する。偏波合波部 37 は、生成した偏波多重信号を、光伝送路 30 を介して収容局装置 10g に送出する（ステップ S706）。

30

【0134】

光伝送路 30 に送出された偏波多重信号は、収容局装置 10g に入力される。収容局装置 10g の偏波分離部 18 は、入力された偏波多重信号の光偏波 k を分離する（ステップ S707）。これにより、偏波多重信号は、光偏波 k の光変調信号となり、対応する O/E 14 に出力される。O/E 14 は、偏波分離部 18 により分離された光偏波 k の光変調信号を電気信号に変換する（ステップ S708）。この処理により、光偏波 k の光変調信号は、周波数 $f^{k_{Ri}}$ の電気信号に変換される。O/E 14 は、周波数 $f^{k_{Ri}}$ の電気信号を分波器 15 に出力する。

【0135】

分波器 15 に出力された周波数 $f^{k_{Ri}}$ の電気信号は、周波数に応じて分波される（ステップ S709）。分波器 15 で分波された周波数 $f^{k_{Ri}}$ の電気信号は出力部 16 に入力される。出力部 16 は、入力された周波数 $f^{k_{Ri}}$ の電気信号を復調する（ステップ S710）。例えば、出力部 16 は、光偏波 k と周波数 $f^{k_{Ri}}$ の $(m_X + m_Y)$ 通りの組み合わせのうち、1つを選択して復調してもよい。これは、 $(m_X + m_Y)$ 個の受信ビームのうち、1つのビームを選択することと同値である。なお、出力部 16 は、複数の周波数及び複数の光偏波を選択し、同時利用することでマルチビーム形成も可能である。出力部 16 は、入力された周波数 $f^{k_{R1}}, \dots, f^{k_{Rm}}$ の電気信号の複数を復調した後に MIMO 信号処理を行ってもよい。

40

【0136】

50

以上のように構成された無線通信システム 1 g によれば、上り方向においても第 3 の実施形態と同様の効果を得ることができる。

【 0 1 3 7 】

(第 8 の実施形態)

第 8 の実施形態では、基地局装置において波長分割多重及び偏波分割多重して収容局装置に信号を送信する点が、第 5 の実施形態との差分である。第 8 の実施形態では、第 5 の実施形態との差分を中心に説明する。

【 0 1 3 8 】

図 1 6 は、第 8 の実施形態における無線通信システム 1 h の構成例を示す図である。無線通信システム 1 h は、収容局装置 1 0 h と、基地局装置 2 0 h とを備える。収容局装置 1 0 h と、基地局装置 2 0 h とは、光伝送路 3 0 を介して接続されている。

10

【 0 1 3 9 】

基地局装置 2 0 h は、複数のアンテナ 3 1 - 1 ~ 3 1 - N と、ビーム形成回路 3 2 と、複数の光変調部 3 5 と、複数の偏波合波部 3 7 と、光合波器 3 6 とを備える。なお、図 1 6 では、説明の簡単化のため記載を省略しているが、偏波合波部 3 7 は光波長 R の数 n だけ備えられる必要があり、光変調部 3 5 は光波長 R_j が利用する偏波の数 (例えば、2) だけ備えられる必要がある。そのため、ビーム形成回路 3 2 の入力ポートの数は、 $2n$ となる。

【 0 1 4 0 】

偏波合波部 3 7 は、複数の光変調部 3 5 によりサブキャリア多重された信号を合波して偏波分割多重する。これにより、偏波合波部 3 7 は、偏波多重信号を生成する。

20

【 0 1 4 1 】

光合波器 3 6 は、偏波合波部 3 7 により偏波分割多重された信号を合波して波長分割多重する。これにより、光合波器 3 6 は、波長多重信号を生成する。光合波器 3 6 は、生成した波長多重信号を、光伝送路 3 0 を介して基地局装置 2 0 b に伝送する。

【 0 1 4 2 】

ビーム形成回路 3 2 は、第 4 の実施形態におけるビーム形成回路 2 4 と同様に、 $2n$ 個の入力ポートと、 N 個の出力ポートを持つ。ビーム形成回路 3 2 の入力ポートには、 $2n$ 個の光変調部 3 5 が接続される。ビーム形成回路 3 2 の出力ポートには、アンテナ 3 1 - 1 ~ 3 1 - N が接続される。ここで、光波長 R_j と光偏波 k との $2n$ 通りの組み合わせは、 $2n$ 個のビーム形成回路 3 2 の入力ポート及び $2n$ 個の受信ビームと一対一に対応している。ビーム形成回路 3 2 は、アンテナ 3 1 - 1 ~ 3 1 - N から出力された電気信号を出力ポートから入力し、入力ポートに接続される光変調部 3 5 に出力する。

30

【 0 1 4 3 】

収容局装置 1 0 h は、光分波器 1 7 と、複数の偏波分離部 1 8 と、複数の O / E 1 4 と、出力部 1 6 とを備える。なお、図 1 6 では、説明の簡単化のため記載を省略しているが、偏波分離部 1 8 は光波長 R の数 n だけ備えられる必要があり、O / E 1 4 は光波長 R_j が利用する光偏波の数 (例えば、2) だけ備えられる必要がある。

【 0 1 4 4 】

光分波器 1 7 は、光伝送路 3 0 を介して受信した波長多重信号を分波する。

40

【 0 1 4 5 】

偏波分離部 1 8 は、光分波器 1 7 により分波された光変調信号の光偏波 k 成分を分離する。

【 0 1 4 6 】

図 1 7 は、第 8 の実施形態における無線通信システム 1 h の処理の流れを示すシーケンス図である。図 1 7 において、図 1 1 と同様の処理については図 1 1 と同様の符号を付して説明を省略する。

アンテナ 3 1 は、外部の装置から送信された無線信号を受信する (ステップ S 8 0 1) 。アンテナ 3 1 は、受信した無線信号を電気信号に変換してビーム形成回路 3 2 に出力する。ビーム形成回路 3 2 は、電気信号が入力された出力ポートに対応する入力ポートに接

50

続された光変調部 35 に電気信号を出力する。

【0147】

光変調部 35 はそれぞれ、入力ポートから出力された電気信号を光波長 R_j で光偏波 k の光信号を強度変調する（ステップ S802）。光変調部 35 は、光偏波 k の光変調信号を偏波合波部 37 に出力する。

【0148】

偏波合波部 37 は、各光変調部 35 により生成された光変調信号を合波して偏波分割多重する（ステップ S803）。これにより、偏波合波部 37 は、偏波多重信号を生成する。偏波合波部 37 は、生成した偏波多重信号を、光合波器 36 に出力する。光合波器 36 は、各偏波合波部 37 から出力された偏波多重信号を合波して波長分割多重する（ステップ S804）。これにより、光合波器 36 は、波長多重信号を生成する。光合波器 36 は、生成した波長多重信号を、光伝送路 30 を介して収容局装置 10g に送出する（ステップ S805）。

【0149】

光伝送路 30 に送出された波長多重信号は、収容局装置 10h に入力される。収容局装置 10h の光分波器 17 は、入力された波長多重信号を波長に応じて分波する（ステップ S806）これにより、波長多重信号は、光波長 R_j の光変調信号となり、対応する偏波分離部 18 に出力される。偏波分離部 18 は、入力された光波長 R_j の光変調信号の光偏波 k を分離する（ステップ S807）。これにより、光波長 R_j の光変調信号は、光偏波 k の光変調信号となり、対応する O/E14 に出力される。O/E14 は、偏波分離部 18 により分離された光偏波 k の光変調信号を電気信号に変換する（ステップ S808）。この処理により、光偏波 k の光変調信号は、電気信号に変換される。O/E14 は、電気信号を出力部 16 に出力する。

【0150】

出力部 16 は、入力された電気信号を復調する（ステップ S809）。例えば、出力部 16 は、光波長 R_j と光偏波 k の $2n$ 通りの組み合わせのうち、1つを選択して復調してもよい。これは、 $2n$ 個の受信ビームのうち、1つのビームを選択することと同値である。なお、出力部 16 は、複数の光波長及び複数の光偏波を選択し、同時利用することでマルチビーム形成も可能である。出力部 16 は、入力された電気信号の複数を復調した後 MIMO 信号処理を行ってもよい。

【0151】

以上のように構成された無線通信システム 1f によれば、上り方向においても第 4 の実施形態と同様の効果を得ることができる。

【0152】

（第 8 の実施形態の変形例）

図 16 に示す収容局装置 10h 及び基地局装置 20h は、図 18 のように構成されてもよい。図 18 は、第 8 の実施形態の変形例における無線通信システム 1i の構成例を示す図である。無線通信システム 1i は、収容局装置 10i と、基地局装置 20i とを備える。収容局装置 10i と、基地局装置 20i とは、光伝送路 30 を介して接続されている。

【0153】

基地局装置 20i は、複数のアンテナ 31-1 ~ 31-N と、ビーム形成回路 32 と、複数の光変調部 35 と、複数の光合波器 36 と、偏波合波部 37 とを備える。なお、図 18 では、説明の簡単化のため記載を省略しているが、光合波器 36 は偏波の数（例えば、2）だけ備えられる必要があり、光変調部 35 は光偏波 X が利用する周波数の数 m_X と光偏波 Y が利用する周波数の数 m_Y の合計数（ $m_X + m_Y$ 個）だけ備えられる必要がある。そのため、ビーム形成回路 24 の入力ポートの数は、 $m_X + m_Y$ となる。

【0154】

ビーム形成回路 32 は、（ $m_X + m_Y$ ）個の入力ポートと、 N 個の出力ポートとを持つ。ビーム形成回路 32 の入力ポートには、（ $m_X + m_Y$ ）個の光変調部 35 が接続される。ビーム形成回路 32 の出力ポートには、アンテナ 31-1 ~ 31-N が接続される。こ

10

20

30

40

50

ここで、光偏波 k と光波長 τ_j の $(m_x + m_y)$ 通りの組み合わせは、 $(m_x + m_y)$ 個のビーム形成回路 32 の入力ポート及び $(m_x + m_y)$ 個の受信ビームと一対一に対応している。

【0155】

収容局装置 10i は、偏波分離部 18 と、複数の光分波器 17 と、複数の O/E 14 と、出力部 16 とを備える。なお、図 18 では、説明の簡単化のため記載を省略しているが、光分波器 17 は光波長 R の数 n だけ備えられる必要があり、O/E 14 は光波長 R_j が利用する光偏波の数（例えば、2）だけ備えられる必要がある。

【0156】

図 16 に示す基地局装置 20h では偏波分割多重した後に波長分割多重したのに対し、基地局装置 20i では波長分割多重した後に偏波分割多重する。収容局装置 10i では、光伝送路 30 を介して受信した偏波多重信号の光偏波 k 成分を偏波分離部 18 により分離した後に、光分波器 17 により波長に応じて分波する。

10

【0157】

（第 1 の実施形態から第 8 の実施形態における変形例）

第 1 の実施形態から第 4 の実施形態における構成と、第 5 の実施形態から第 8 の実施形態における構成とが組み合わせられてもよい。例えば、第 1 の実施形態と、第 5 の実施形態とが組み合わせられてもよい。この場合、収容局装置として収容局装置 10 と収容局装置 10e とが組み合わせられ、基地局装置として基地局装置 20 と基地局装置 20e とが組み合わせられる。例えば、第 2 の実施形態と、第 6 の実施形態とが組み合わせられてもよい。例えば、第 3 の実施形態と、第 7 の実施形態とが組み合わせられてもよい。例えば、第 4 の実施形態と、第 8 の実施形態とが組み合わせられてもよい。

20

【0158】

第 1 の実施形態から第 8 の実施形態では、周波数のみ制御、周波数と光波長を制御、周波数と光偏波を制御、光偏波と光波長を制御する構成を示した。第 1 の実施形態から第 8 の実施形態において、光偏波と、光波長と、周波数との全てを制御するように構成されてもよい。このように構成される場合、下り方向への送信の場合には、第 1 の実施形態に示す構成と第 4 の実施形態に示す構成とを組み合わせ、光偏波と、光波長と、周波数との全てを制御するように構成すればよい。上り方向への送信の場合には、第 5 の実施形態に示す構成と第 8 の実施形態に示す構成とを組み合わせ、光偏波と、光波長と、周波数との全てを制御するように構成すればよい。

30

【0159】

上述した実施形態における収容局装置 10, 10a, 10b, 10c, 10d, 10e, 10f, 10g, 10h, 10i や基地局装置 20, 20a, 20b, 20c, 20d, 20e, 20f, 20g, 20h, 20i の一部の機能部をコンピュータで実現するようにしてもよい。その場合、この機能を実現するためのプログラムをコンピュータ読み取り可能な記録媒体に記録して、この記録媒体に記録されたプログラムをコンピュータシステムに読み込ませ、実行することによって実現してもよい。なお、ここでいう「コンピュータシステム」とは、OS や周辺機器等のハードウェアを含むものとする。

【0160】

また、「コンピュータ読み取り可能な記録媒体」とは、フレキシブルディスク、光磁気ディスク、ROM、CD-ROM 等の可搬媒体、コンピュータシステムに内蔵されるハードディスク等の記憶装置のことをいう。さらに「コンピュータ読み取り可能な記録媒体」とは、インターネット等のネットワークや電話回線等の通信回線を介してプログラムを送信する場合の通信線のように、短時間の間、動的にプログラムを保持するもの、その場合のサーバやクライアントとなるコンピュータシステム内部の揮発性メモリのように、一定時間プログラムを保持しているものも含んでもよい。また上記プログラムは、前述した機能の一部を実現するためのものであってもよく、さらに前述した機能をコンピュータシステムにすでに記録されているプログラムとの組み合わせで実現できるものであってもよく、FPGA 等のプログラマブルロジックデバイスを用いて実現されるものであってもよい。

40

50

【 0 1 6 1 】

以上、この発明の実施形態について図面を参照して詳述してきたが、具体的な構成はこの実施形態に限られるものではなく、この発明の要旨を逸脱しない範囲の設計等も含まれる。

【 産業上の利用可能性 】

【 0 1 6 2 】

本発明は、アナログ R o F 伝送を行う無線通信システムに適用可能である。

【 符号の説明 】

【 0 1 6 3 】

1 0、1 0 a、1 0 b、1 0 c、1 0 d、1 0 e、1 0 f、1 0 g、1 0 h、1 0 i ... 収容局装置， 1 1、1 1 a、1 1 b ... 制御部， 1 2、1 2 a、1 2 b ... 周波数変換部， 1 3、1 3 a、1 3 b ... 光変調部， 1 4 ... O / E， 1 5 ... 分波器， 1 6 ... 出力部， 2 0、2 0 a、2 0 b、2 0 c、2 0 d、2 0 e、2 0 f、2 0 g、2 0 h、2 0 i ... 基地局装置， 2 1 ... O / E， 2 2 ... 分波器， 2 3 - 1 ~ 2 3 - m、3 3 ... 周波数変換部， 2 4 ... ビーム形成回路， 2 5 - 1 ~ 2 5 - N、3 1 - 1 ~ 3 1 - N ... アンテナ， 2 6 ... 光分波器， 2 7 ... 偏波分離部， 3 4 ... 合波器， 3 6 ... 光合波器， 3 7 ... 偏波合波部

10

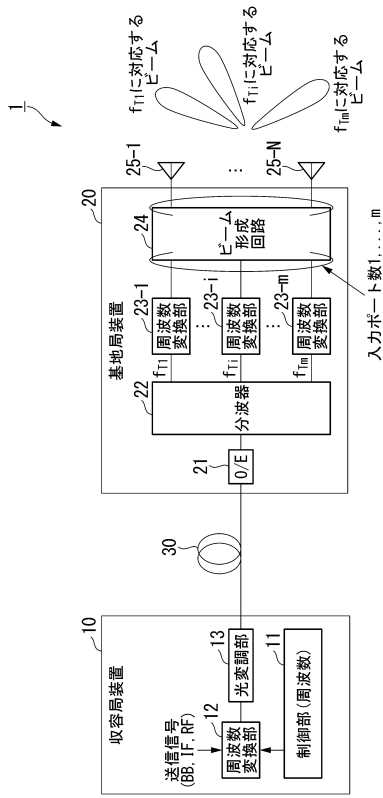
20

30

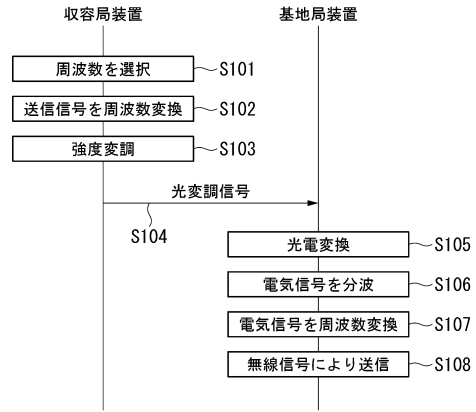
40

50

【図面】
【図 1】



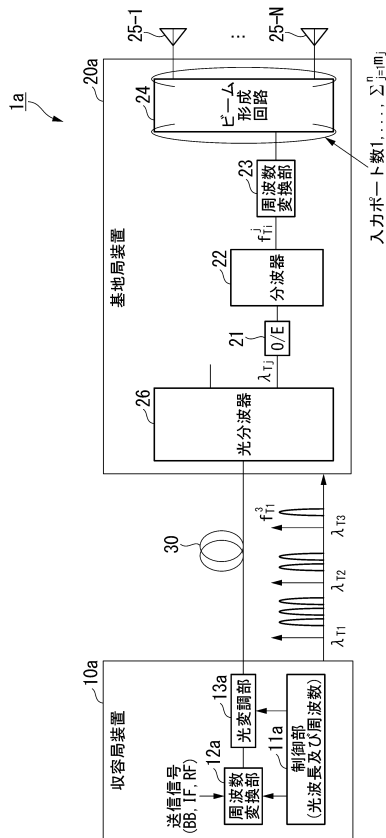
【図 2】



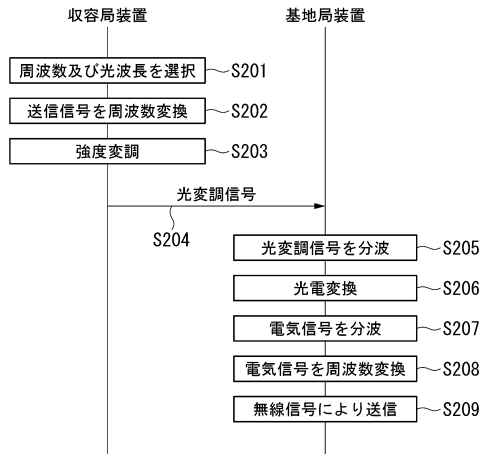
10

20

【図 3】



【図 4】

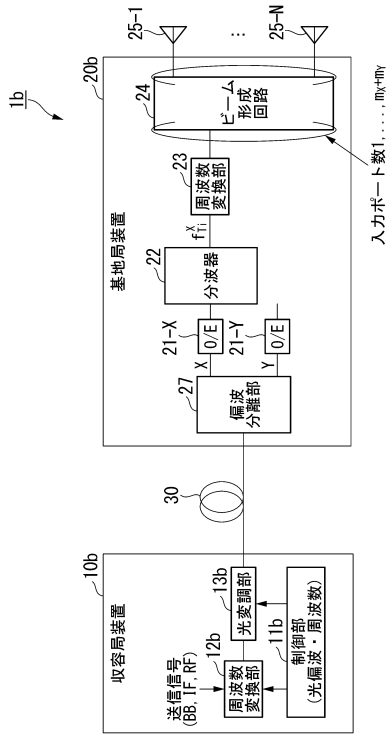


30

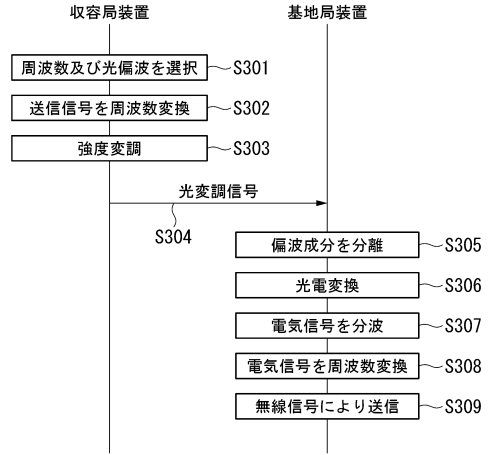
40

50

【図5】



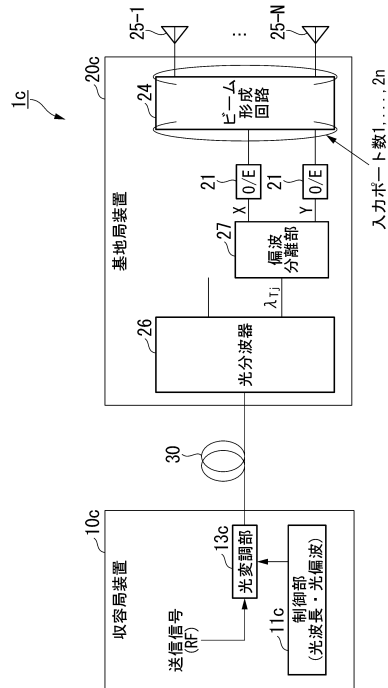
【図6】



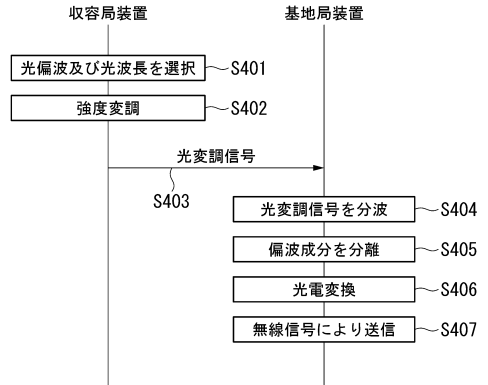
10

20

【図7】



【図8】

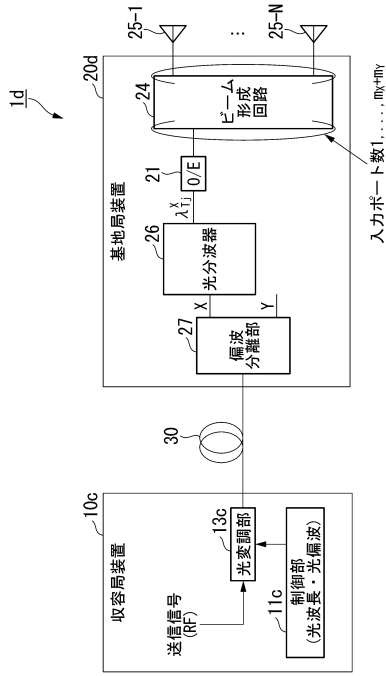


30

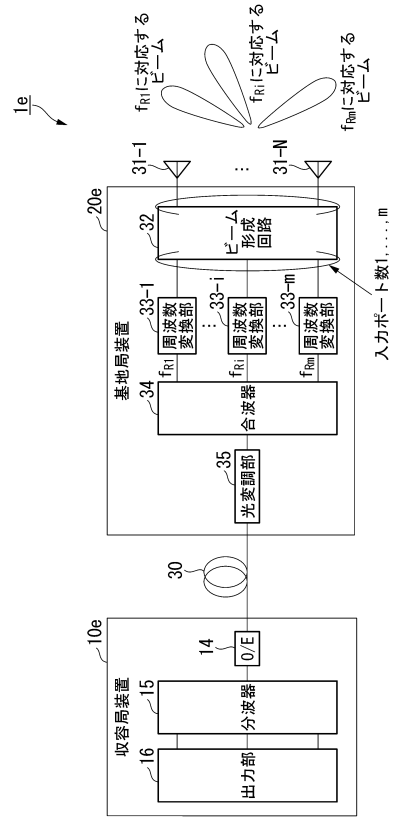
40

50

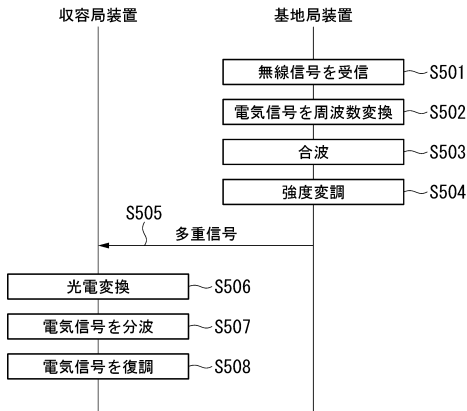
【図 9】



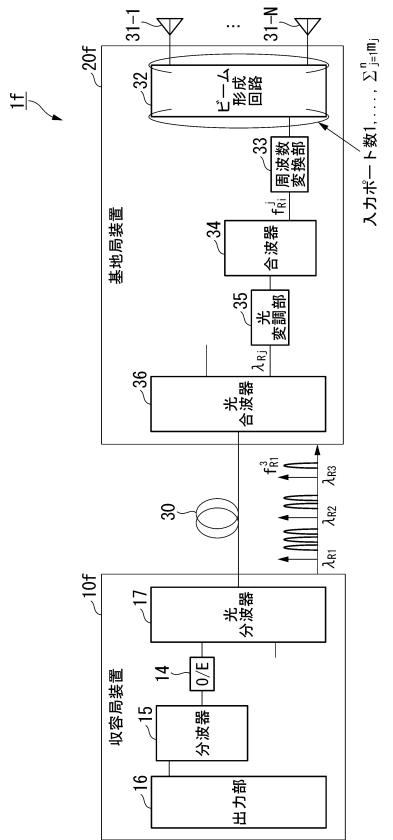
【図 10】



【図 11】



【図 12】



10

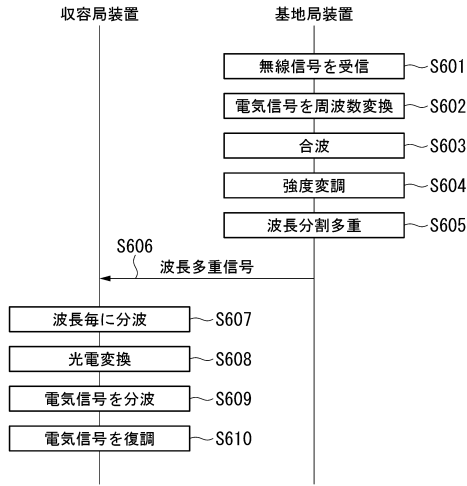
20

30

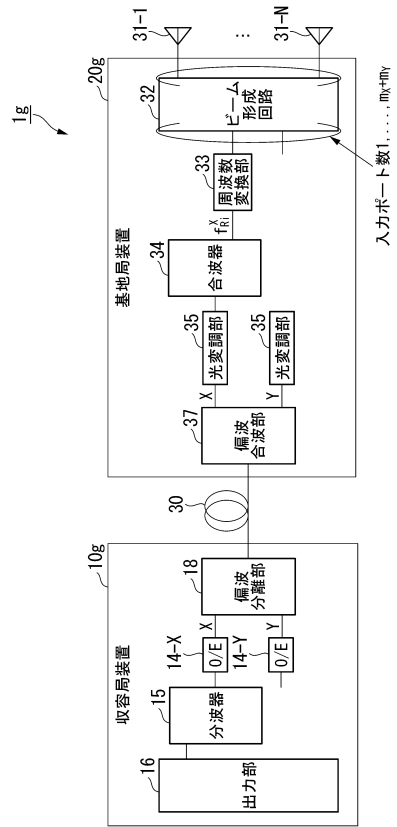
40

50

【図 1 3】



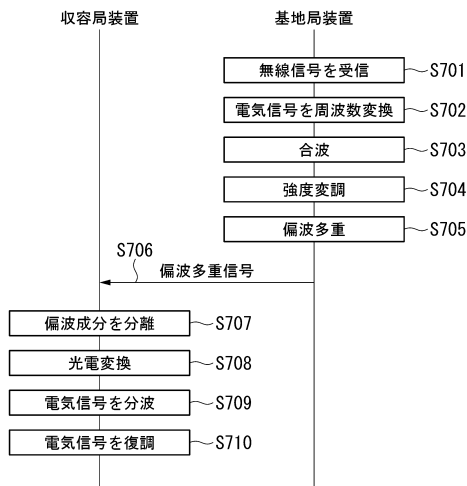
【図 1 4】



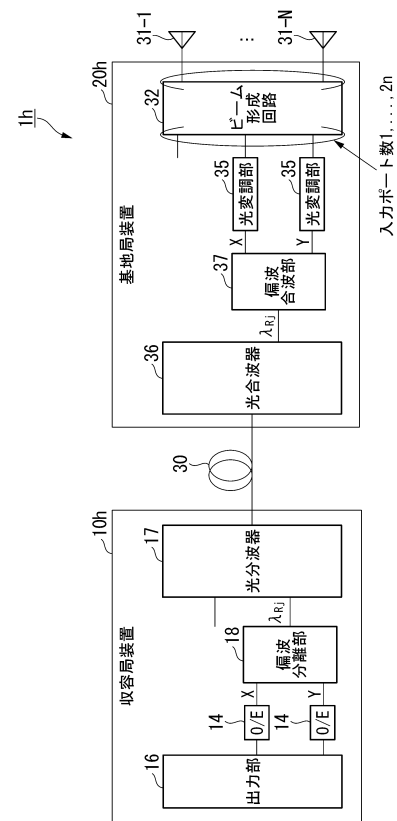
10

20

【図 1 5】



【図 1 6】

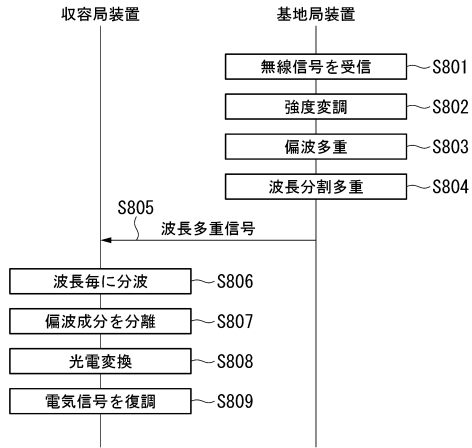


30

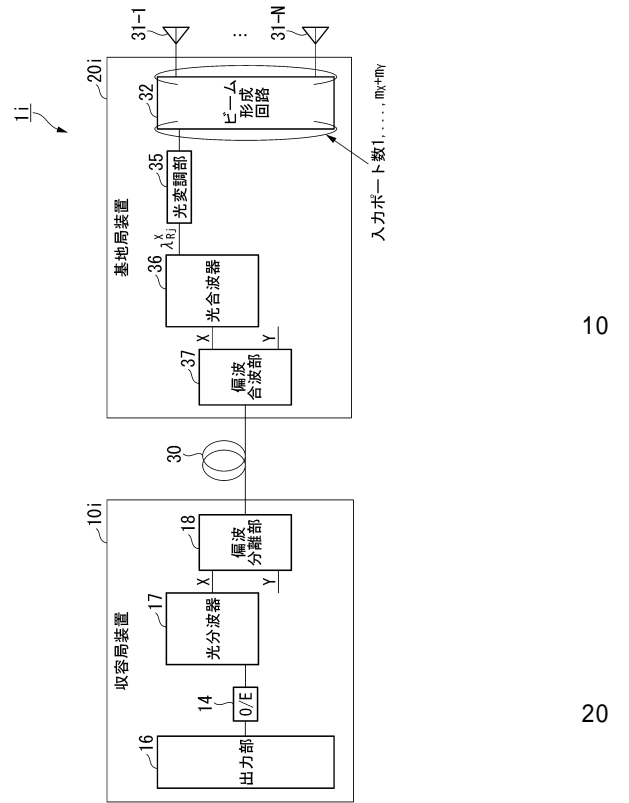
40

50

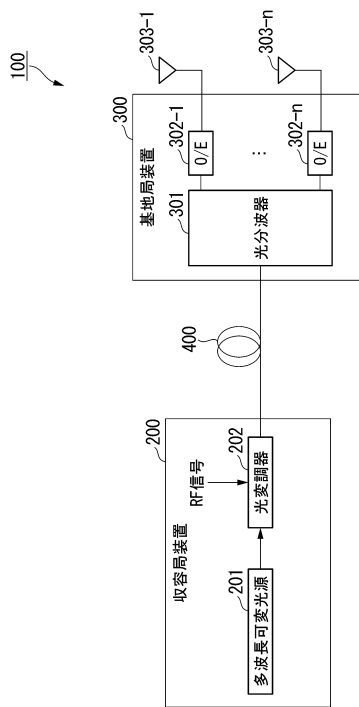
【図 17】



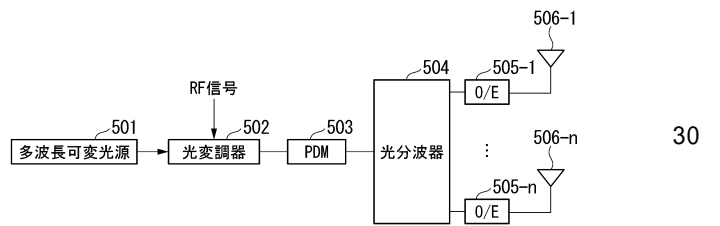
【図 18】



【図 19】



【図 20】



10

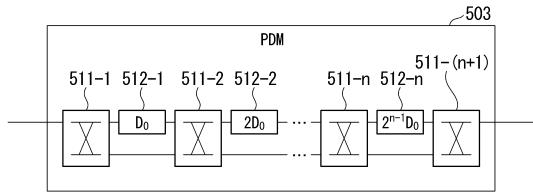
20

30

40

50

【 2 1 】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内

(72)発明者 北 直樹

東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内

審査官 齊藤 晶

(56)参考文献 特開2017-118483(JP, A)

米国特許出願公開第2015/0086212(US, A1)

蓑口 恭 他, Radio-over-Fiber伝送技術と波長分散効果を利用した60GHz帯アレー アンテナ
ビーム制御, 電子情報通信学会論文誌C, 2016年08月09日, Vol.J99-C, No.9, pp.425-433

HONG, Wei et al., Multibeam Antenna Technologies for 5G Wireless Communications, IEE
E Transactions on Antennas and Propagation, 2017年06月07日

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

H04B 7/06

H04B 10/2575

IEEE Explore